

## ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УДК: 582.28:574.5

## Состав и структура сообществ мицелиальных грибов в донных грунтах Белого моря

Е.Н. Бубнова<sup>1,\*</sup>, О.А. Грум-Гржимайло<sup>1</sup>, В.В. Козловский<sup>2</sup><sup>1</sup>Беломорская биологическая станция имени Н.А. Перцова, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12;<sup>2</sup>Центр морских исследований, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 77, Научный парк МГУ, офис 402

\*e-mail: kattya.bubnova@wsbs-msu.ru

50 образцов донных грунтов были отобраны в 2016–2017 гг. в Кандалакшском заливе Белого моря с глубин 1,5–15 м. Выделено 1419 колоний мицелиальных грибов, отнесенных к 136 морфотипам, из которых 81 был идентифицирован до вида по морфолого-культуральным признакам. Обнаружено 13 видов, новых для Белого моря. Наиболее распространенными были *Tolypocladium cylindrosporum*, *Penicillium chrysogenum*, *Tolypocladium inflatum*, *Penicillium glabrum* и анаморфа *Pseudogymnoascus pannorum*. В таксономической структуре преобладали анаморфы аскомицетов, а самой многочисленной и разнообразной группой был класс Sordariomycetes. Оценка видового богатства с помощью кумулятивной кривой и расчета ожидаемого полного числа видов с поправкой Chao2 показала, что видовое разнообразие выявлено примерно на 81%. Ординация сообществ грибов методом nMDS с тестом ANOSIM показала высокую значимость объединения групп по признакам года отбора и типа грунта, а также года отбора и типа экотопа. Таким образом, важнейшим фактором для формирования микобиоты является тип грунта, связанный с типом берега и наличием пресного стока. Кроме того, сообщества мицелиальных грибов в исследованных донных грунтах меняются год от года.

**Ключевые слова:** морские грибы, Ascomycota, донные грунты, разнообразие, Белое море, ординация сообществ

Донные осадки океана — одно из самых больших по охвату территории местообитаний на Земле [1]. Вместе с тем, до последнего времени они практически не привлекали внимание морских микологов. Долго считалось, что здесь могут находиться только покоящиеся propagules грибов, принесенные с суши и не участвующие в функционировании экосистемы [2]. Но в последние 20 лет ситуация стала меняться, появляется все больше исследований микобиоты этих местообитаний. Основное внимание пока сосредоточено на исследовании разнообразия грибов в донных грунтах различных широт [3–6] и глубин [7–10], а также на изучении отдельных особенностей выделенных культур [11, 12]. Этими работами продемонстрировано, что морские грунты — местообитание, богатое грибами, а их видовое разнообразие зачастую очень высоко. Это относится как к прибрежным [3, 8–11], так и к удаленным от берега [4, 7, 12] районам. В настоящее время исследования разнообразия грибов в донных осадках мирового океана и их приспособлений к условиям среды — актуальные направления морской микологии [11, 12]. Несмотря на растущий интерес, микобиота морских грунтов исследована пока крайне фрагментарно. Кроме того, в большинстве случаев ученые имеют

в своем распоряжении малое количество образцов и не проводят статистической обработки результатов. Поэтому основной целью своей работы мы поставили выявление и оценку видового разнообразия сообщества мицелиальных грибов небольшого участка акватории и изучение влияния некоторых параметров на ее формирование с использованием большого числа образцов и применением статистических методов.

## Материалы и методы

**Отбор образцов.** Материал для исследования — 50 образцов грунтов сублиторали — отбирали в конце июля—начале августа 2016 (29 образцов) и 2017 (21 образец) гг. в Кандалакшском заливе Белого моря, в окрестностях Беломорской биостанции имени Н.А. Перцова (ББС), в 13 прибрежных локациях (по 2–4 образца в каждой) с глубин от 1,5 до 15 м. Материал отбирали из верхнего слоя (2 см) грунта стерильными пластиковыми пробирками, по одной из каждой точки, в основном при водолазных погружениях. В одной локации — Ермолинской губе (5 образцов, 2016) — грунт поднимали с помощью дночерпателя, из которого материал собирали в пробирки. Крайние локации (Ермолинская губа и мыс Киндо) распо-

лагались на расстоянии примерно 7 км друг от друга. Большинство локаций расположены на небольшом участке (1,5×0,5 км) в проливе Великая Салма около ББС.

**Выделение и идентификация грибов.** Видовой состав грибов выявляли общепринятыми морфолого-культуральными методами [3, 5, 7–9, 12]. Образцы высевали непосредственно в день отбора (или на следующий) на поверхность среды сусло-агар на природной морской воде (общее содержание сахаров – 0,3%, соленость – 26‰, антибиотик Цефтриаксон – 0,5 г/л). До посева материал хранили при +6°C. Перед посевом из пробирки сливали излишек воды, из образца брали 1 см<sup>3</sup> и равномерно распределяли простерилизованным шпателем по 5 чашкам со средой. Инкубировали при +6°C в течение 6 нед., после чего выделяли образовавшиеся колонии в чистую культуру. Выделенные культуры идентифицировали по возможности до вида. Если это было невозможно, то такие колонии регистрировали как отдельные морфотипы (некоторые морфотипы были представлены несколькими колониями). Названия и таксономическое положение грибов уточняли с помощью базы [www.indexfungorum.org/Names/fungic.asp](http://www.indexfungorum.org/Names/fungic.asp).

**Статистическая обработка.** На каждой чашке подсчитывали общее число колоний и число колоний каждого вида и морфотипа. Из этих данных вычисляли общее число колоний и число колоний каждого вида и морфотипа в отдельных образцах. Для определения актуального видового разнообразия и выравнивания рассчитывали индексы Шеннона и Пиелу. Оценку видового богатства проводили с использованием кумулятивной кривой накопления числа видов при увеличении числа образцов. Т.к. полученная кривая не вышла на плато (увеличение числа проб приводило к увеличению числа видов), то провели расчет ожидаемого полного числа видов с поправкой Chao2 на встречаемость редких видов [13]. Анализ степени сходства сообществ грибов отдельных проб осуществляли на основе расчета индекса сходства Брэя-Кертиса и индекса сходства Сьеренсена. На основании полученных матриц сходства проводили ординацию образцов методом неметрического многомерного шкалирования (nMDS) для выявления общих тенденций в распределении сообществ. Результаты ординации проверяли и дополняли методом однофакторного анализа сходства (ANOSIM), который позволяет оценивать достоверность объединения образцов в те или иные группы [13, 14]. Пороговый уровень значимости, за которым группировка считалась случайной, принимали равным 5%. Были проверены объединения образцов в следующие группы: 1) год отбора (2016/2017); 2) тип осадка (слабозаиленный/сильнозаиленный); 3) глубина (менее 5 м/5–10 м/более 10 м); 4) тип экотопа (открытый берег, без

пресного стока/открытый берег с пресным стоком/полузакрываемая бухта с пресным стоком/закрываемая губа с пресным стоком); 5) год + тип осадка; 6) год + тип экотопа. Оценка вклада отдельных видов во внутривидовое сходство и выявление индикаторных (определяющих для объединения образцов в группы) видов проводилась с помощью процедуры SIMPER. Для всех расчетов использовали пакеты MS Excel 2007 (Microsoft™) и PRIMER v6 (Primer™, 2001).

Результаты и обсуждение

**Общие сведения о численности и разнообразии микобиоты.** Всего во всех посевах выросло 1419 колоний мицелиальных грибов (табл. 1). Из 1 см<sup>3</sup> одного образца выделялось от 7 до 74, в большинстве случаев – 20–50 колоний. Данная численность сравнительно невелика. Она немного ниже численности грибов в илистых грунтах на глубинах 54–108 м пролива Великая Салма [5] и на 1–2 порядка ниже численности, полученной А. Хуснуллиной с соавторами [10] из галечно-илисто-песчаных грунтов на глубинах 0–30 м здесь же. Последнее можно связать, предположительно, с разными методологическими подходами. Относительно низкую численность пропагул грибов, полученную нами, можно также связать с типом грунта: большинство исследованных образцов имели песчаный слабозаиленный грунт, а в нем, как правило, численность грибов несколько ниже, чем в более илистых грунтах [15].

Таблица 1

Таксономическая структура микобиоты донных грунтов пролива Великая Салма в Белом море

Класс	Количество					
	порядков	семейств	родов	морфотипов	изотипов	образцов
ZYGYMYCOTA						
Mortierellomycetes	1	1	1	2	2	2
Mucoromycetes	1	2	2	2	5	5
Incertae sedis	1	1	1	2	12	5
ASCOMYCOTA						
Dothideomycetes	3	5	7	8	89	30
Eurotiomycetes	2	2	4	23	405	48
Leotiomycetes	2	2	3	4	124	39
Saccharomycetes	1	1	1	1	1	1
Sordariomycetes	4	11	20	52	648	50
НЕИЗВЕСТНЫЕ (СТЕРИЛЬНЫЕ)						
	-	-	-	43	133	43
ВСЕГО						
	15	25	39	137	1419	50

При относительно низкой численности, разнообразии микобиоты исследованных грунтов высоко. На основе морфолого-культуральных признаков мы выделили 136 морфотипов, из которых 81 был идентифицирован до уровня вида, 14 – до уровня рода, и 43 не были идентифицированы, так как были стерильными. Из одного образца выде-

лялось от 6 до 24 морфотипов, в большинстве случаев — 10–20. Мы обнаружили ряд видов, которые не были ранее известны для Белого моря [10, 15, 16]. Это один вид зигомицетов — *Mortierella hyalina* (Harz) W. Gams и 12 видов из 11 родов анаморф аскомицетов: *Acremonium alternatum* Link; *Aspergillus ochraceus* G. Wilh.; *Cephalotrichum purpureofuscum* (S. Hughes) S. Hughes; *Dendryphion nanum* (Nees) S. Hughes; *Exophiala jeanselmei* (Langeron) Mc Ginnis & A.A. Padhye; *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin; *Microascus brevicaulis* S.P. Abbott; *Microascus chartarum* (G. Sm.) Sandoval-Denis, Gené & Guarro; *Paramyrothecium roridum* (Tode) L. Lombard & Crous; *Penicillium griseolum* G. Sm.; *Tolypocladium microsporum* (Jaap) Bissett; *Torula herbarum* (Pers.) Link. Из всех выделенных видов облигатными морскими являются только *Acremonium fuci* Summerb., Zuccaro & W. Gams и *Paradendryphiella salina* (G.K. Sutherl.) Woudenberg & Crous [17]. Все остальные известны также из почвенных и пресноводных местообитаний, большинство, в том числе, и в окрестностях ББС [16].

Наиболее обычными видами, обнаруженными не менее чем в 50% образцов, и образовавшими относительно большое число колоний, являются *Tolypocladium cylindrosporum* W. Gams (227 колоний/36 образцов), *Penicillium chrysogenum* Thom (123/40), *Tolypocladium inflatum* W. Gams (87/27), *Penicillium glabrum* (Wehmer) Westling (86/25) и *Pseudogymnoascus pannorum* (Link) Minnis & D.L. Lindne (54/28; 4 изолята с плодовыми телами, остальные — только с конидиями). Еще 10 видов были обнаружены не менее чем в 10 образцах. Остальная, большая часть, морфотипов — 121, была обнаружена менее чем в 10 образцах, и многие из них — единичными колониями в отдельных образцах. На уровне родов наиболее разнообразным и широко представленным был *Penicillium* — 17 видов и один неидентифицированный морфотип, 392 колонии в 48 образцах. Далее следуют *Acremonium* (8 видов и 4 неидентифицированных морфотипов, 108 колоний в 31 образце) и *Trichoderma* (6 видов и 3 неидентифицированных морфотипа, 45 колоний в 19 образцах). При меньшем разнообразии род *Tolypocladium* показал высокую численность и встречаемость (329 колоний/45 образцов). 133 стерильные колонии были выделены из 43 образцов. По морфолого-культуральным признакам мы разделили их на 43 морфотипа, из которых 26 были светлоокрашенными, и 17 — меланизированными. В целом, в микобиоте также преобладали светлоокрашенные формы.

В таксономической структуре микобиоты абсолютно преобладают аскомицеты (табл. 1): их доля в общем числе выделенных изолятов составила не менее 89,2%. Среди них, в свою очередь, наиболее обильно представленными классами являются Eurotiomycetes и Sordariomycetes. Последний также лидирует по разнообразию — от морфо-

типов до порядков. Общее число выделенных зигомицетов крайне невелико: всего 19 колоний 6 видов в 11 образцах.

В целом, такая структура микобиоты не явилась большой неожиданностью. О том, что в морских экотопах преобладают аскомицеты, а при культуральных исследованиях — их анаморфные формы, известно давно [2, 17]. Преобладание аскомицетов в морских экотопах показано при использовании не только прямых и культуральных, но и молекулярных методов [7, 11, 18]. В предыдущих исследованиях микобиоты донных грунтов Белого моря, как и донных грунтов отделяющихся от Белого моря озер, также были показаны преобладание анаморф аскомицетов, высокая доля представителей родов *Penicillium* и *Tolypocladium*, преобладание светлоокрашенных форм [5, 10, 19]. Подобные особенности известны и для грунтов других холодноводных морей [6, 9, 12]. Заметной отличительной особенностью микобиоты исследованных нами образцов было максимальное обилие аскомицетов из класса Sordariomycetes. В предыдущих исследованиях в окрестностях ББС [5, 10] эта группа была малочисленнее, чем Eurotiomycetes. Таким образом, выявленная нами микобиота имеет многие черты, характерные для исследованных ранее сообществ грибов донных грунтов различных холодноводных морей. Ее основной отличительной особенностью является наибольшее обилие и разнообразие представителей класса Sordariomycetes.

**Статистический анализ разнообразия и структуры микобиоты.** Значения индекса Шеннона колебались от 0,97 до 2,8 в отдельных образцах, в среднем — 2,2. Значения выше 2 являются довольно высокими для микобиоты морских осадков [3, 9]. Значения индекса Пielу — от 0,59 до 0,96 в отдельных образцах, в среднем — 0,88, что также относительно высоко.

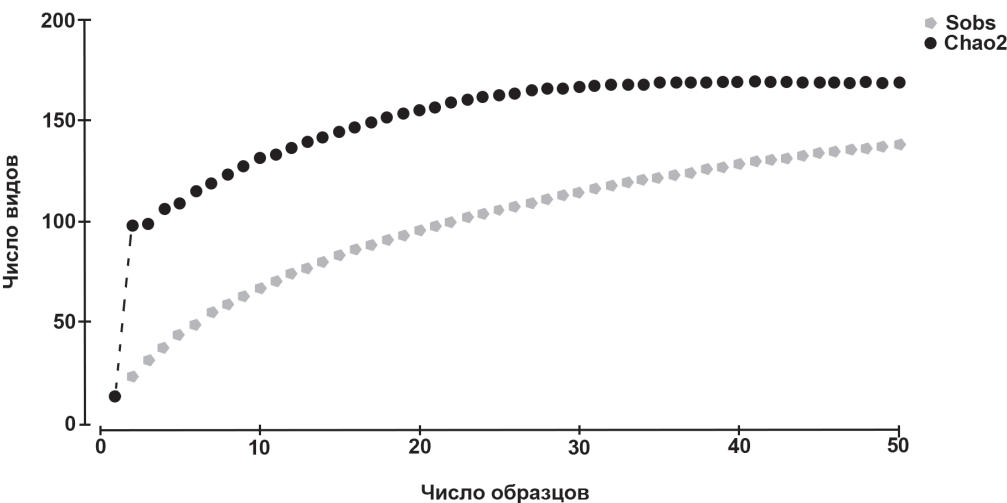
Построенная нами кумулятивная кривая накопления видов не вышла на плато (рисунок), что свидетельствует о том, что полностью разнообразие микобиоты в нашей работе не выявлено. Кроме того, кривая поднимается плавно, следовательно, для выявления видового богатства нужно использовать большее число образцов. Например, обработка 20 образцов позволила обнаружить около 50% общего видового богатства, 30 образцов — около 70%. Расчет с поправкой Chao2 показал, что ожидаемое полное число видов на исследованном участке составляет 167. Таким образом, в нашей работе разнообразие выявлено примерно на 81% от теоретически возможного. Следует заметить, что нам не известны работы в области морской микологии, в которых бы применялась подобная статистическая оценка видового разнообразия. Но учитывая, что в большинстве работ по разнообразию бентосной микобиоты количество образцов составляет 10–20, реже около 30, можно предпо-



лагать, что это (наряду с относительно небольшим числом работ в целом) может являться причиной общей низкой изученности микобиоты морских грунтов.

Расчеты индексов сходства для отдельных образцов показали их относительно низкие значения: для индекса Сьеренсена – немного выше (от 7,1 до 64,7%, в среднем – 32,4%), для индекса Брей-Кертис – немного ниже (от 5,3 до 57,8%, в среднем – 28,9%). Тем не менее, дальнейший анализ методом многомерного шкалирования в обоих случаях продемонстрировал достоверное объединение образцов в группы в соответствии с рядом параметров. Уровень значимости достоверности выделения группировки для индекса Сьеренсена по ANOSIM показал следующие значения: 1) год отбора – 0,2; 2) тип осадка – 0,6; 3) глубина – 37,6; 4) тип экотопа – 1,7; 5) тип осадка + год отбора – 0,1; 6) тип экотопа + год – 0,1. Для индекса Брей-Кертис картина принципиально такая же. Таким образом, объединение образцов недостоверно только по глубине отбора, а наилуч-

шее объединение происходит при комбинации года отбора с типом грунта и типом экотопа. Тип экотопа в большинстве случаев связан с типом грунта: заиление происходит или на более закрытых участках берега, или на участках с пресным стоком, т.е. важнейшим фактором для формирования микобиоты является тип грунта, связанный с типом берега и наличием пресного стока. Кроме того, от года к году в микобиоте донных грунтов могут происходить значительные изменения, что было показано нами на примере двухлетних наблюдений. Очевидно, что эти различия могут быть связаны с множеством погодных факторов, которые в рамках данной работы не было возможности вычленить. В общей сложности 17 видов могут являться определяющим для объединения групп (табл. 2), но их распределение и пропорции зависят от конкретной группы и слабо зависят от значения индекса сходства. Например, при увеличении заиления, из сообщества определяющих видов пропадают представители рода *Tolypocladium*, но увеличивается разнообразие *Penicillium*. Кроме



**Рисунок.** Зависимость кумулятивных кривых накопления числа видов от числа взятых образцов и использования поправки Чао (Chao2) на встречаемость редких видов. Sobs – наблюдаемое число видов; Chao2 – число видов, скорректированное по методу Чао [13].

Таблица 2

Виды, отвечающие за объединение групп по признаку тип экотопа + год. Приводится на основе расчета индекса сходства Сьеренсена

Группа	Тип грунта	Среднее сходство	Виды
Открытый берег без пресного стока, 2016	Слабозаиленный песок	31,42	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i> , <i>Tolypocladium inflatum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Pseudogymnoascus pannorum</i> , <i>Penicillium aurantiogriseum</i>
Открытый берег без пресного стока, 2017	Слабозаиленный песок	33,63	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i> , <i>Penicillium glabrum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Tolypocladium inflatum</i>
Открытый берег, пресный сток, 2016	Сильнозаиленный песок	31,89	<i>Tolypocladium cylindrosporum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Tolypocladium inflatum</i> , <i>Penicillium thomii</i> , <i>Cylindrocarpon magnusianum</i>
Открытый берег, пресный сток, 2017	Сильнозаиленный песок	41,55	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Sarocladium strictum</i> , <i>Penicillium glabrum</i> , <i>Trichoderma atroviride</i> , <i>Tolypocladium cylindrosporum</i> , <i>Penicillium nalgiovense</i>
Полузакрытая бухта, пресный сток, 2016	Ил с небольшим количеством песка	40,27	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Tolypocladium cylindrosporum</i> , <i>Penicillium aurantiogriseum</i> , <i>Penicillium citrinum</i>
Полузакрытая бухта, пресный сток, 2017	Ил с небольшим количеством песка	23,86	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Penicillium aurantiogriseum</i> , <i>Paradendryphiella salina</i> , <i>Pseudogymnoascus pannorum</i> , <i>Umbelopsis ramanniana</i> , <i>Acremonium murorum</i> , <i>Sarocladium strictum</i> , <i>Trichoderma atroviride</i>
Закрытая губа, 2016	Ил	33,12	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Penicillium glabrum</i> , <i>Penicillium nalgiovense</i> , <i>Pseudoeurotium hygrophilum</i> , <i>Fusarium roseum</i>

того, увеличивается разнообразие *Cephalosporium*-подобных грибов и общее разнообразие группы определяющих видов. На результаты также влияет год исследования. Например, в 2016 г. на открытых берегах без пресного стока одним из определяющих видов был *Pseudogymnoascus pannorum*, пропавший в 2017 г., хотя в основном эти сообщества схожи. На участках с заиливанием разница по годам проявляется более заметно.

Таким образом, мы предприняли попытку оценить видовое разнообразие и структуру микобиоты донных морских осадков с помощью методов статистического анализа. Определенно, этот подход полезен, так как позволяет яснее понять получаемые при посевах результаты. С помощью этого подхода можно достаточно уверенно определить влияние на состав и структуру морской донной микобиоты типа грунта и типа экотопа; судить об общих различиях в составе и структуре микобиоты в разные годы исследования; о числе

необходимых образцов для наиболее полного выявления видового разнообразия.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №20-04-00882а: обработка и анализ первичных данных по видовому составу) и гранта МГУ имени М.В. Ломоносова для поддержки ведущих научных школ МГУ «Депозитарий живых систем Московского университета» в рамках Программы развития МГУ (статистическая обработка). Авторы выражают признательность водозлазной службе ББС за помощь в организации сбора материалов исследования, а также М.В. Чикиной (Институт океанологии им. П.П. Ширшова) за обсуждение результатов.

Исследования выполнены без использования животных и без привлечения людей в качестве испытуемых. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bongiorni L.* Thraustochytrids, a neglected component of organic matter decomposition and food webs in marine sediments // *Biology of marine fungi. Progress in molecular and subcellular biology.* Vol. 53 / Ed. C. Raghukumar. Berlin—Heidelberg: Springer, 2012. P. 1–15.
2. *Kohlmeyer J., Kohlmeyer E.* Marine mycology, the higher fungi. N.Y.—San Francisco—London: Academic Press, 1979. 690 pp.
3. *Khudyakova Yu.V., Pivkin M.V., Kuznetsova T.A., Svetashev V.I.* Fungi in sediments of the Sea of Japan and their biologically active metabolites // *Microbiology.* 2000. Vol. 69. N 5. P. 608–611.
4. *Damare S., Raghukumar C., Raghukumar S.* Fungi in deep-sea sediments of the Central Indian Basin // *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 2006. Vol. 53. P. 14–27.
5. *Бубнова Е.Н.* Грибы донных грунтов Кандалакшского залива Белого моря // *Микол. фитопатол.* 2009. Т. 43. № 4. С. 4–11.
6. *Bubnova E.N.* Fungal diversity in bottom sediments of the Kara Sea // *Botanica Marina.* 2010. Vol. 53. N 6. P. 595–600.
7. *Nagano Y., Nagahama T.* Cultured and uncultured fungal diversity in Deep-Sea environments // *Biology of marine fungi. Progress in molecular and subcellular biology.* Vol. 53 / Ed. C. Raghukumar. Berlin—Heidelberg: Springer, 2012. P. 173–189.
8. *Bubnova E.N., Nikitin D.A.* Fungi in bottom sediments of the Barents and Kara seas // *Russ. J. Mar. Biol.* 2017. Vol. 43. N 5. P. 400–406.
9. *Бубнова Е.Н., Коновалова О.П.* Разнообразие мицелиальных грибов в грунтах литорали и сублиторали Баренцева моря (окрестности поселка Дальние Зеленцы) // *Микол. фитопатол.* 2018. Т. 52. № 5. С. 320–328.
10. *Khusnullina A.I., Bilanenko E.N., Kurakov A.V.* Microscopic fungi of White Sea sediments // *Contemp. Probl. Ecol.* 2018. Vol. 11. N 5. P. 503–513.
11. *Hagestad O.C., Andersen J.H., Altemark B., Hansen E., Rämä T.* Cultivable marine fungi from the Arctic Archipelago of Svalbard and their antibacterial activity // *Mycologia.* 2019. Vol. 10. N. 4. DOI: 10.1080/21501203.2019.1708492
12. *Luo Y., Xu W., Luo Z.-H., Pang K.-L.* Diversity and temperature adaptability of cultivable fungi in marina sediments from the Chukchi Sea // *Botanica Marina.* 2020. Vol. 63. N 2. P. 197–207.
13. *Chikina M.V., Basin A.B., Mokievskiy V.O., Kucheruk N.V., Kozlovskiy V.V., Shabalin N.V.* Spatial structure of macro- and meiobenthic communities in a homogeneous environment (on the example of the Pechora Sea) // *Oceanology.* 2019. Vol. 59. N 3. P. 367–373.
14. *Clarke K.R., Warwick R.M.* Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2<sup>nd</sup> edition. Plymouth: Primer-E Ltd, 2001. 172 pp.
15. *Bubnova E.N.* Diversity of the microscopic fungi in the littoral sands of the White sea // *Moscow Univ. Biol. Sci. Bull.* 2017. Vol. 72. N 3. P. 121–127.
16. *Bubnova E.N., Grum-Grzhimaylo O.A., Konovalova O.P., Marfenina O.E.* Fifty Years of mycological studies at the White Sea Biological Station of Moscow State University: challenges, results, and outlook // *Moscow Univ. Biol. Sci. Bull.* 2014. Vol. 69. N 1. P. 23–39.
17. *Jones E.B.G., Suetrong S., Sakayaroj J., Bahkali A.H., Abdel-Wahab M.A., Boekhout T., Pang K.L.* Classification of marine Ascomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota and Chytridiomycota // *Fungal Diversity.* 2015. Vol. 73. N 1. P. 1–72.
18. *Rämä T., Hassett B.T., Bubnova E.* Arctic marine fungi: from filaments and flagella to operation taxonomic units and beyond // *Botanica Marina.* 2017. Vol. 60. N 4. P. 433–452.
19. *Grum-Grzhimaylo O.A., Debets J.M., Bilanenko E.N.* Mosaic structure of the fungal community in the Kislo-Sladkoe Lake that is detaching from the White Sea // *Polar Biology.* 2018. Vol. 41. N 10. P. 2075–2089.

Поступила в редакцию 25.05.2020 г.

После доработки 05.07.2020 г.

Принята в печать 07.07. 2020 г.

## RESEARCH ARTICLE

# On the composition and structure of the community of mycelial fungi in the bottom sediments of the White Sea

E.N. Bubnova<sup>1,\*</sup>, O.A. Grum-Grzhimailo<sup>1</sup>, V.V. Kozlovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>N.A. Pertsov White Sea Biological Station, Moscow State University, Leninskiye Gory 1–12, 119234, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Marine research center, Moscow State University, office 402, MSU Science park, Leninskiye Gory 1–77, 119234, Moscow, Russia

\*e-mail: [katya.bubnova@wsbs-msu.ru](mailto:katya.bubnova@wsbs-msu.ru)

50 samples of bottom sediments of Kandalaksha Bay of the White Sea were taken in 2016–2017 from depths of 1.5–15 meters of which 1419 colonies of culturable filamentous fungi were obtained. Based on morphological and cultural features, a total of 136 morphotypes were classified, 81 of these were identified to a species. We discovered 13 species new to the White Sea. The most common were *Tolypocladium cylindrosporum*, *Penicillium chrysogenum*, *Tolypocladium inflatum*, *Penicillium glabrum* and the anamorph of *Pseudogymnoascus pannorum*. The dominance of ascomycetous fungi was a common characteristic of the mycobiota due to the anamorphic species, and the class Sordariomycetes was the most prevailing group. Assessment of species richness using a cumulative curve and the calculation of the expected total number of species adjusted using Chao2 showed that about 81% of the species diversity was found. The ordination of samples by the nMDS with the ANOSIM test showed the high importance of combining the samples into groups based on the year of sampling and type of sediment, as well as the year of sampling and type of ecotope. Therefore, the type of sediment associated with the type of coast and the presence of fresh inflow is the most important factor for the formation of mycobiota. Moreover, the communities of mycelial fungi change from year to year in the studied bottom sediments.

**Keywords:** *marine fungi, Ascomycota, bottom sediments, diversity, White Sea, ordination of communities*

## Сведения об авторах

Бубнова Екатерина Николаевна — канд. биол. наук, науч. сотр. Беломорской биостанции имени Н.А. Перцова биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-54-82; e-mail: [katya.bubnova@wsbs-msu.ru](mailto:katya.bubnova@wsbs-msu.ru)

Грум-Гржимайло Ольга Алексеевна — канд. биол. наук, науч. сотр. Беломорской биостанции имени Н.А. Перцова биологического факультета МГУ. Тел.: 8-495-939-54-82; e-mail: [olgrgr@wsbs-msu.ru](mailto:olgrgr@wsbs-msu.ru)

Козловский Владислав Владимирович — канд. биол. наук, начальник отдела экологии Центра морских исследований МГУ. Тел.: 8-495-648-65-88; e-mail: [vladkst@gmail.com](mailto:vladkst@gmail.com)